

➤ MÓDSZERTAN A NUKLEÁRIS LÉTESÍTMÉNYEKBEN ALKALMAZOTT BETONOK FELAKTIVÁLÓDÁSI HAJLAMÁNAK VIZSGÁLATÁRA

1_2024. ÉPMI (v1_2024. VIII. 15.)



ÉPÍTÉSÜGYI MŰSZAKI IRÁNYELV



SZÉCHENYI 2020



MAGYARORSZÁG
KORMÁNYA

Európai Unió
Európai Szociális
Alap



BEFEKTETÉS A JÖVŐBE

ELŐSZÓ

Az építőipar fejlődésével, az építésügyi szabályozási környezet folyamatos változásával az építési és üzemeltetési folyamat szereplőire egyre összetettebb feladatok hárulnak. Ezen feladatok ellátása- a szakmai ismereteken túl- nagymértékben a hatályos jogszabályok, valamint a szabványok alkalmazásán alapul.

Az építési és üzemeltetési folyamat szereplőinek napi munkájához az építésügyi műszaki irányelvek gyakorlati segítséget nyújtanak.

Bízunk abban, hogy az újjáélesztett és az építési törvényben szabályozott építésügyi műszaki irányelvek az építésügy minden területén fontos eszközeivé válnak a minőség biztosításának, és ez által a gazdaság fejlődésére hosszútávú hatást gyakorolnak.

Az építésügyi műszaki irányelv az építésügyi szereplőket, az építőipart támogató olyan önkéntesen alkalmazható szabályozási eszköz, amely hatékonyan és gyorsan tud válaszolni az iparág külső és belső műszaki, valamint gazdasági kihívásaira.

Az építésügyi műszaki irányelv lényegében módszertan arra, hogy az elvárásokat, követelményeket hogyan lehet hatékonyan teljesíteni mindazon területeken, ahol jogszabály, szabvány nem ad, vagy nem teljeskörűen ad útmutatást, illetve minden olyan esetben, ahol több szabványt, szabályt kell egyidejűleg alkalmazni.

Az építésügyi műszaki irányelv főbb jellemzői:

- ▶ szakmaiság, közérthetőség;
- ▶ tömörség, könnyen kezelhetőség;
- ▶ egységes tartalmi és formai rend;
- ▶ rendszerezettség;
- ▶ mindenki számára biztosított hozzáférés.

Az építésügyi műszaki irányelvek alkalmazása önkéntes. Azonban abban az esetben, ha műszaki tartalmú jogszabályban, szerződésben, illetve ezek mellékleteiben kerül rögzítésre, úgy az kötelező érvényű.

Az építésügyi műszaki irányelvek elfogadását széles körű szakmai egyeztetés előzi meg, annak érdekében, hogy a bennük foglaltak szakmai konszenzuson alapuljanak.

Ezúton szeretnénk megköszönni az előkészítésében résztvevő szakemberek lelkiismeretes és áldozatos munkáját, amely nélkül jelen építésügyi műszaki irányelv nem jöhetett volna létre.

Szintén köszönettel tartozunk az állami szervezetek támogató anyagi és szakmai közreműködéséért.

Külön köszönet mindazon szakmai szervezeteknek és munkatársaiknak, akik munkájukkal segítették az építésügyi műszaki irányelv létrehozását.

ÉMSZB Titkársága

TARTALOMJEGYZÉK

<u>ELŐSZÓ</u>	2
1. <u>ALKALMAZÁSI TERÜLET</u>	4
2. <u>ÁLTALÁNOS TUDNIVALÓK</u>	4
3. <u>FOGALOMMEGHATÁROZÁSOK</u>	5
3.1. Nukleáris alapfogalmak	5
3.2. Nukleáris mérés technikákkal kapcsolatos fogalmak	8
3.3. Betonnal és beton összetevőkkel kapcsolatos alapfogalmak	8
4. <u>ALKALMAZANDÓ MÓDSZEREK, ELJÁRÁSOK</u>	10
4.1. A betonok elemösszetétel meghatározásának jelen építésügyi műszaki irányelv által javasolt módszerei	11
4.2. A gamma-spektrumok kiértékelése	13
5. <u>A NUMERIKUS MODELLEZÉS</u>	15
6. <u>HIVATKOZOTT ÉS FELHASZNÁLT DOKUMENTUMOK</u>	18
6.1. Hivatkozott dokumentumok	18
6.2. Az irányelvhez kapcsolódó releváns források	18
6.2.1. Jogszabály	18
6.2.2. Szakirodalom	19

1. ALKALMAZÁSI TERÜLET

A jelen építésügyi műszaki irányelv a nukleáris létesítményekben, különösen az atomerőművekben alkalmazott betonok felaktiválódási jellemzőinek vizsgálatára és értékelésére szolgáló célszerű és gyakorlatias módszert ismerteti. Az építésügyi műszaki irányelv kidolgozásának célja, hogy az új nukleáris létesítmények betonjainak tervezéséhez már kész eljárásrend és vizsgálati módszer álljon rendelkezésre.

Ezen építésügyi műszaki irányelv jelentős mértékben támaszkodik az ÉMI Nkft. által az Innovációs és Technológiai Minisztérium jogutódja az Építési és Közlekedési Minisztérium által finanszírozott STFO/177/2020-ITM_SZERZ szerződésszámú, ZV390092 azonosítójú kutatás projekt eredményeire és annak keretében készített tanulmányokra.

Az építésügyi műszaki irányelvnek nem tárgya a dekontaminálható felületek és bevonatok vizsgálati és értékelési módszereinek ismertetése.

2. ÁLTALÁNOS TUDNIVALÓK

A nukleáris biztonság szempontjából elengedhetetlen a betonok felaktiválódási hajlamának vizsgálata, amelyhez a beton- és vasbeton-szerkezetek betonösszetételének komplex tervezése és meghatározása szükséges.

A nukleáris létesítményekben, különösen az atomerőművekben normál üzemviteli körülmények között felépő lehetséges sugárzások közül sugárvédelmi szempontból a neutron- és a γ -sugárzás bír jelentőséggel. A reaktorban lejátszódó maghasadást neutronok és γ -sugárzás keletkezése kíséri, amelyek egy része az aktív zónából kijutva kölcsönhatásba lép a környezetében levő szerkezeti anyagokkal. A neutronok a környezeti anyagokban további γ -fotonokat hozhatnak létre.

A γ -sugárzás elleni védelmet a lehető legnagyobb rendszámú elemekkel lehet hatékonyan megvalósítani. Erre elvileg két lehetőség, illetve ezek kombinációja jöhet szóba:

- ▶ Nagyobb rendszámú elemeket tartalmazó cementek alkalmazása;
- ▶ Nagyobb rendszámú elemeket tartalmazó („nehéz”) adalékanyagok alkalmazása.

A γ -sugárzásnak kitett, a reaktor környezetében elhelyezkedő vasbeton-szerkezetnek esetenként további igénybevételekkel szemben is ellenállónak kell lenni: korrozív közeg, magas hőmérséklet, mechanikai igénybevétel stb. Ezen igénybevételekkel kapcsolatos vizsgálatok nem képezik jelen építésügyi műszaki irányelv tárgyát.

Az üzemidő lejártá után a biológiai védelmet a reaktor ellenőrzött területének más berendezéseihez hasonlóan elbontják és amennyiben lehetséges, a keletkezett hulladékot felszabadítják. A védelem céljaira alkalmazott beton felaktiválódása jelentősen növelheti a költségesen elhelyezhető radioaktív hulladék tömegét, megakadályozva a nagyobb rész felszabadítását. Új reaktorok esetén már a tervezési fázisban, a sugárvédelem ALARA elvét követve, figyelembe kell venni a felaktiválódást, megfelelő nyersanyagokat, komponenseket választva a betonreceptúrák kidolgozása során.

A további felhasználásra nem szánt, emberi tevékenység eredményeképpen létrejött radioaktív anyagot sugárbiztonsági szempontból kezelni szükséges, mert az általa kezelés nélkül okozható sugárdózis kockázata meghaladhatja az elfogadható szintet.

3. FOGALOMMEGHATÁROZÁSOK

3.1. Nukleáris alapfogalmak

ALARA elv

Az észszerűen elérhető legalacsonyabb sugárzási viszonyok elve (As Low As Reasonably Achievable - ALARA). Olyan átfogó sugárvédelmi tervezési és üzemeltetési filozófia, amely a gazdasági racionalitást is figyelembe véve törekszik a sugárzási szint, illetve ennek negatív egészségügyi és anyagi következményeinek minimalizálására.

A neutronok csoportosítása

A neutronokat kinetikus energiájuk szerint csoportosítjuk. A környezetével termikus egyensúlyban lévő neutronokat termikusnak nevezzük, szobahőmérsékleten ez $kT = 25,26$ meV karakterisztikus energiának, illetve 2198 m s^{-1} legvalószínűbb sebességnek felel meg. Kinetikus energiájuk Maxwell-eloszlással írható le. Az ezeknél kisebb, 5 meV körüli kinetikus energiájúakat hideg, a kb. 0,1 eV fölöttieket epitermikus, a MeV-es tartományban lévőket pedig gyorsneutronoknak nevezzük. A termikus és a hidegneutronokat összefoglalóan lassú neutronoknak nevezzük.

Magreakciókban csak gyorsneutronok állíthatók elő, a neutronbefogás valószínűsége azonban termikus és hideg neutronokra a legnagyobb. A gyorsneutronok jellemzően kis rendszámú atomokból álló moderátorokban, sorozatos rugalmas ütközéseket követően termalizálódnak, lelassulnak. Kutatóreaktorokban gyakran egy cseppfolyós hidrogént vagy deutériumot tartalmazó speciális cellát, ún. hidegneutron-forrást is elhelyeznek, hidegneutron-nyalábok előállítására, amellyel a kísérleti berendezések teljesítménye javítható.

Dózis, dózisteljesítmény

A sugárvédelem alapvető, fizikailag is mérhető mennyisége az elnyelt dózis (D), amely minden közvetlenül és közvetve ionizáló sugárzásra alkalmazható és amely egy céltárgy dm tömegű egységnyi térfogatelemében a sugárzás által leadott dE energia mértéke. Mértékegysége J kg^{-1} , azaz a Gray (Gy). Az időegység alatt elnyelt dózist elnyelt dózisteljesítménynek nevezzük, mértékegysége Gy s^{-1} .

Elnyelés

Az atommag képes elnyelni (abszorbeálni) neutron, mivel a neutron semlegessége miatt a pozitív töltésű atommag nem taszítja el magától, ezért képes annak a belsejébe hatolni. Ezt hívjuk neutronbefogásnak.

Makroszkópikus léptékben elnyelésről beszélünk akkor is, amikor az alfa, béta, vagy gammasugárzás elnyelődik valamilyen anyagban, azaz a sugárzás intenzitása ez által az anyagon áthaladva lecsökken.

Felaktiválódás

A neutronbesugárzásnak kitett anyagok atommagjai a neutronok egy részét befoghatják és az eredetinel egy tömegszámmal nagyobb atommag keletkezik, amely lehet stabil vagy radioaktív. A magátalakulás gyakorisága minden pillanatban arányos a sugárzásnak kitett adott nuklid anyagmennyiségével, a neutronter intenzitásával és egy valószínűség jellegű magfizikai paraméterrel, az ún. neutronbefogási hatáskeresztmetszettel. Állandó intenzitású neutron-besugárzás és a legegyszerűbb aktiválódási-bomlási séma esetében az aktivitás időben exponenciálisan közelít meg egy maximum értéket, amelyet telítési aktivitásnak nevezünk. A besugárzást követően a radionuklid mennyisége exponenciálisan csökken. Több radionuklid együttes jelentéte esetén ezek keletkezése és bomlása az idő függvényében egy differenciálegyenlet rendszerrel pontosan nyomonkövethető és előre jelezhető.

Izotóp

Egy adott kémiai elem különböző fizikai tulajdonságú változata, amely csak az atommagban lévő neutronok számában (és ez által atomtömegében) különbözik. Egy elem természetes előfordulásban általában izotópjainak keverékéből áll.

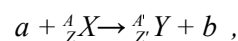
KN - DTM radionuklidok

A hosszú felezési idejű radioizotópok között nagyszámban fordulnak elő olyan nuklidok, amelyeket „nehezen mérhetőnek” (Difficult-To-Measure- DTM) nevezünk, mert nem vagy csak kis gyakorisággal bocsátanak ki könnyen detektálható γ -sugárzást, Ezek az izotópok gyakran tiszta α - vagy β -bomlók, illetve bomlásukat csak kisenergiájú, így könnyen elnyelődő röntgen vagy γ -sugárzás kíséri. Jellemző példák a ^3H , ^{14}C , ^{55}Fe , ^{63}Ni , és a ^{59}Ni .

A DTM csoport meghatározásához bonyolult és költséges radioanalitikai mérések elvégzésére van szükség, vagy ennek hiányában egy átszámoláson alapuló módszert alkalmaznak. Ez utóbbi esetben korrelációt keresnek a kérdéses nehezen mérhető nuklid aktivitása és egy másik, könnyen mérhető kulcsnuklid (Key Nuclide- KN) aktivitása között, úgynevezett scaling-faktorok formájában. A scaling-faktor módszer alapfeltétele, hogy elegendően nagyszámú mérési adat álljon rendelkezésre az összefüggés megalapozásához, másrészt, hogy a kulcsnuklid hasonló kémiai és magfizikai tulajdonságokkal rendelkezzen, mint a kérdéses célnuklid.

Magreakció

A magreakció során az atommag kölcsönhatásba lép valamilyen részecskével vagy egy másik atommaggal és ennek eredményeképpen más részecskék keletkeznek. Bármely magreakció felírható a következő egyenlettel:



ahol „a” a bombázó részecske, „X” a cél atommag, „Y” a termékmag és „b” részecske repül ki a magból. Rövid jelölési formája $X(a,b)Y$.

A magreakció bekövetkezésének valószínűségét a hatáskeresztmetszettel (szokásos jelölése σ) lehet jellemezni. Ennek szakterületen elfogadott mértékegysége a barn, azaz 10^{-24} cm².

Neutron

A neutron az atommag egyik összetevője, amelyet a protonnal együtt nukleonnak neveznek. Jele: n^0 .

Neutronfluxus

Az egy négyzetcentiméter felületeleмен egy másodperc alatt áthaladó neutronok számát fluxusnak nevezük. Jele Φ , mértékegysége cm⁻² s⁻¹. Termikus ekvivalens fluxus esetén az adott neutronter okozta befogási gyakoriságot átszámítjuk arra, hogy ha egy 2200 m/s sebességű neutronokból álló neutronter okozná az aktivációt. Ezzel egy összevethető mérőszámot kapunk a különböző besugárzóhelyeken várható aktiválódási viszonyokról. A neutronfluxus adott besugárzási időre vett integrálja a fluens.

Radioaktív bomlás

Az atommag spontán módon átalakul vagy egy adott atommag alacsonyabb energiaállapotba kerül és eközben valamilyen sugárzást bocsát ki.

Radionuklid

Olyan atommag, amely a spontán bomlás képességével rendelkezik (A radioaktív izotóp szinonimája).

Sugárzásos neutronbefogás

A sugárzásos neutronbefogás, más néven az (n, γ) -reakció, során a bombázó neutron az atommagba történő befogása után az atommagot gerjesztett állapotba hozza. Ebből az atommagból igen rövid idő alatt gamma-sugárzás távozik, amellyel az atommag a gerjesztési energiájától szabadul meg. A legerjesztődés során a befogási állapotból az alapállapot felé haladva az atommag ún. prompt γ -fotonokat bocsát ki. Ezek energiája és intenzitása az $(A+1)$ tömegszámú magra, így közvetve a kiindulási nuklidra jellemző, ezért minőségi és mennyiségi elemzésre használható. Ez az alapja a prompt-gamma aktivációs analízis (PGAA) nevű elemzési módszernek. A radioaktivitást kísérő gamma-sugárzással ellentétben a prompt-gamma sugárzás a neutronbesugárzás végeztével azonnal megszűnik.

γ - foton

Nagyenergiájú, nagy áthatolóképességű, ionizáló elektromágneses sugárzás egy részecskéje.

γ - sugárzás

Az atommagból származó nagyenergiájú elektromágneses sugárzástípus. A gamma-sugárzás kibocsátása egy nuklid gerjesztett állapotból alacsonyabb energiaállapotba kerülésének eredménye. A gamma-foton kibocsátása tehát minőségi magátalakulással nem jár, e közben nem keletkezik másfajta nuklid.

3.2. Nukleáris mérés technikákkal kapcsolatos fogalmak

Műszeres neutron aktivációs analízis (NAA)

Az anyagok (nyom)elemösszetételét vizsgáló analitikai módszer, amelynek során az (ismeretlen összetételű) mintát neutronokkal a kutatóreaktor aktív zónájában besugározzák, amelynek hatására benne az atommagok egy része radioaktív izotóppá alakul, „felaktiválódik”. A különböző kezdeti magok a neutron besugárzás miatt különféle, rájuk jellemző sugárzásokat bocsátanak ki. Ez után a besugárzási lépéstől térben és időben elkülönítve, gamma-detektorokkal mérik a felaktivált minta gamma-sugárzásának intenzitását és energia spektrumát, amelyből kiszámolható a minta elemi összetétele.

Neutron-indukált elemanalízis és aktivációbecslés (NEAA)

Az eljárás a vizsgált minták elemösszetételének meghatározására alkalmas nukleáris analitikai módszerek és az ahhoz kapcsolt numerikus számítások összehangolt és egymást kiegészítő alkalmazásán alapul. Ezzel az eljárással az egyes anyagok (pl. betonösszetevők) aktivációs hajlama kvantitatívan megítélhető.

Prompt-gamma aktivációs analízis (PGAA)

A prompt-gamma aktivációs analízisben (PGAA) egy kivezetett neutronnyalábbal történő besugárzás és a keletkező gamma fotonok mérése egy helyen és egy időben történik. A mintából kibocsátott γ -sugárzás karakterisztikus, energiája jellemző a kibocsátó atommagra (izotópjára), intenzitása pedig a gerjesztett atommagok számára. A neutronok és a γ -fotonok is nagy áthatólképességű részecskék, ezért a teljes besugárzott minta térfogatára kapható meg az átlagos elemi összetétel információ.

3.3. Betonnal és beton összetevőkkel kapcsolatos alapfogalmak

Adalékanyag

Természetes eredetű, mesterséges, visszanyert vagy újrahasznosított szemcsés ásványi alkotóelem, amely alkalmas a betonban való felhasználásra (Forrás: MSZ 4798:2016 [1]).

Adalékszer

Olyan alkotóanyag, amelyet beton keverési folyamata során a cement tömegéhez képest kis mennyiségben adagolnak a friss vagy szilárd beton tulajdonságainak módosítására (Forrás: MSZ 4798:2016 [1]).

Benmaradt levegő

A betonban lévő olyan levegő, amelyet nem szándékosan képeztek (Forrás: MSZ 4798:2016 [1]).

Beton

Cement, durva és finom adalékanyag, valamint víz összekeverésével készített anyag adalékszerekkel, kiegészítő anyagokkal, illetve szálakkal vagy azok nélkül és amelynek tulajdonságai hidratáció révén -

a beton összetételéből, a bedolgozástól, az utókezeléstől és a környezeti körülményekről függően alakulnak ki (Forrás: MSZ 4798:2016 [1]).

Cement

Finomra őrölt szervesetlen anyag, amely vízzel megkeverve pépet képez, majd hidratációs reakciók és folyamatok révén víz alatt is köt és megszilárdul, a szilárdulást követően szilárdságát és térfogatállandóságát víz alatt is megtartja [Forrás: MSZ EN 197-1] (Forrás: MSZ 4798:2016 [1]).

Friss beton

Teljesen megkevert, olyan állapotban lévő beton, amely a kiválasztott módszerrel még tömöríthető (Forrás: MSZ 4798:2016 [1]).

Hidrátbeton

A hidrátbeton olyan neutronsugárzás ellen védő betontípus, amely kis- és nagy rendszámú elemeket egyaránt tartalmaz. Legfontosabb jellemzője a kémiaiilag kötött víztartalom (hidrátvíz).

Képzett levegő

A keverés alatt a betonban szándékosan, rendszerint felületaktív anyagok alkalmazásával képzett mikroszkopikus légbuborékok, amelyek gömb vagy közel gömb alakúak és átmérőjük jellegzetesen 10 mm és 300 mm között van (Forrás: MSZ 4798:2016 [1]).

Kötőanyag (binder)

Olyan anyag, amely a szemcséket összefüggő, egyfázisú szilárd anyaggá fogja össze, pl.: cement, építési mész (Forrás: MSZ 998-2:2017 [2]).

Nehéz adalékanyag

Adalékanyag, amelynek kiszáritott állapotában az MSZ EN 1097-6 szabvány szerint meghatározott szemcsetestsűrűsége $\geq 3000 \text{ kg/m}^3$ (Forrás: MSZ 4798:2016 [1]).

Nehézbeton

A beton testsűrűsége alapján nehézbetonnak nevezzük a kiszáritott állapotában 2600 kg/m^3 -nél nagyobb testsűrűségű betont (Forrás: MSZ 4798:2016 [1]).

Normál (szokványos) beton

A beton testsűrűsége alapján normál (szokványos) betonnak nevezzük a kiszáritott állapotában 2000 kg/m^3 -nél nagyobb, de legfeljebb 2600 kg/m^3 testsűrűségű szilárd betont (Forrás: MSZ 4798:2016 [1]).

Szilárd beton

Szilárd állapotban lévő, bizonyos szilárdságot elért beton (Forrás: MSZ 4798:2016 [1]).

Víz/cement tényező

A friss betonban lévő hatékony víztartalomnak és a cementtartalomnak a tömeg szerinti aránya (Forrás: MSZ 4798:2016 [1]).

Zsugorodás

A zsugorodás a szilárduló beton alakváltozása, amelynek altípusai korai vagy kapilláris zsugorodás, száradási, autogén, kémiai, illetve karbonátosodási zsugorodás.

4. ALKALMAZANDÓ MÓDSZEREK, ELJÁRÁSOK

A különböző betonreceptúrák megítéléséhez és összehasonlításához meg kell határozni a betonban lévő lehetséges (nyom)elem szennyezőket, amelyből a neutronbesugárzás hosszú felezési idejű radionuklidokat hozhat létre.

A vizsgálandó betonok olyan inhomogén rendszerek, amelyekben adalékanyagok, kötőanyag, légpórusok, adalékszer-maradványok találhatóak. Nagyobb próbatestek vizsgálata nem lehetséges, ezért az alkotók megfelelően előkészített kis mintái kerülnek vizsgálatra (A különböző gyártóktól, illetve származási helyről érkező minták egymástól nagyban eltérő eredményeket mutathatnak.).

A betontervezést végző szakemberek a különböző megfontolások alapján kiválasztott betonalkotókból legalább az 1. táblázatban szereplő mennyiségeket a laboratórium részére bocsájtják a felaktiválódás vizsgálata céljából.

	Szükséges mennyiség
Cement (gyártónként és típusonként)	1 kg
Kavics (származási hely szerint, frakciónként)	1 kg (legfeljebb 2 mm szemcse nagyságig megőrölve)
Homok (származási hely szerint, frakciónként)	1 kg
Légpórusképző adalékszer (folyadék)	100 g habarcs minta adalékszerrel 100 g habarcs minta adalékszer nélkül készítve
Folyósító adalékszer (folyadék)	100 g habarcs minta adalékszerrel 100 g habarcs minta adalékszer nélkül készítve
Egyéb adalékanyag	1 kg

1. táblázat: laboratóriumi vizsgálatokhoz beszállítandó betonösszetevők és azok minimális mennyisége

MEGJEGYZÉS: Összetett szerkezetek vizsgálata (vasbeton, acéllemez burkolattal ellátott betonszerkezet stb.) esetén az egyéb alkalmazott anyagok vizsgálatára is szükség van.

4.1. Betonok elemösszetétel meghatározásának jelen építésügyi műszaki irányelv által javasolt módszerei

A hosszú felezési idejű izotópok keletkezésének előrejelzésére a neutronos elemösszetétel mérés és aktivációbecslés (Neutron-based Elemental Analysis and Activation Assessment, NEAA) módszere alkalmazható. Itt első lépésben két, technikailag különböző, elemösszetétel mérésére alkalmazható nukleáris technikával (PGAA és NAA) meghatározzuk az egyes betonösszetevők, alapanyagok összetételét, különös tekintettel azok nyomelemtartalmára. Ezekből a készítési receptúrában feltüntetett arányok figyelembevételével levezetjük a készülő beton összetételét és nyomelemtartalmát, amelyet a sugárzási tér paramétereivel kiegészítve felhasználunk az aktiváció mértékének becslésére.

Mindkét módszer olyan nukleáris mérés technika, ahol a mérési eredmények hibája a hibaterjedés segítségével már egy mérésből is megadható és nincs szükség párhuzamos minták mérésére és abból tapasztalati szórás levezetésére. A mérés más elemanalitikai módszerrel szemben izotóppérzékeny, azaz a nukleáris reakciók miatt pontosan azokat a nuklidokat határozzák meg, amelyek később a felaktiválódásért felelősek.

Az PGAA és NAA módszer egymást kiegészítő (komplementer) eljárásként alkalmazható. A 2. táblázat tartalmazza a módszerek részletes összehasonlítását.

	NAA	PGAA
Minták kezelése	mintaelőkészítés szükséges (tömegmérés, minta bemérése kvarccsőbe, besugárzó tokba)	minimális mintaelőkészítés szükséges (minta csomagolása teflonzacskóba)
(tömegmérés, minta bemérése kvarccsőbe, besugárzó tokba)	reaktor neutronokkal	hidegneutronokkal
Besugárzás	a reaktor függőleges csatornájában	kivezetett vízszintes neutronnyalábbal
Besugárzási termikus ekvivalens fluxus (a Budapesti Kutatóreaktornál)	$2,0 \times 10^{13} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$	$7,75 \times 10^7 \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$
Mérés menete	spektrumfelvétel a besugárzást követően	spektrumfelvétel a besugárzással egyidejűleg
Mérés és kiértékelés időtartama	~3 óra besugárzás, mérések végzése 4-5 nap, valamint 20-30 nappal a besugárzást követően +20 perc kiértékelés/minta	kb. 1-3 óra besugárzás és mérés, + 1 óra kiértékelés /minta
Meghatározható elemek szilikátos mátrixban	As, Ba, Br, Ca, Ce, Co, Cr, Cs, Eu, Fe, Hf, K, La, Na, Nd, Rb, Sb, Sc, Sm, Sr, Ta, Tb, Th, U, W, Yb, Zn, Zr	H, B, Na, Mg, Al, Si, S, Cl, K, Ca, Sc, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Cu, Ni, Nd, Sm, Gd

2. táblázat: PGAA és NAA módszer részletes összehasonlítása

4.1.1. A prompt-gamma aktivációs analízis (PGAA)

A PGAA a sugárzásos neutronbefogás jelenségén alapszik. A folyamatban γ -sugárzás jön létre, amelynek energiájából és intenzitásából egyértelműen lehet következtetni a minta elemösszetételére. A neutronbefogás, a hélium négyes tömegszámú izotópját kivéve, minden nuklidon végbemegy, tehát a módszer elvben alkalmas valamennyi elem egyidejű meghatározására. Lehetőség van panoráma analízisre is: ekkor

egyetlen mérésből egy ismeretlen minta valamennyi összetevőjének koncentrációját vagy az adott körülmények között érvényes kimutatási határát határozzák meg.

A teljes analitikai eljárás roncsolásmentes, így a PGAA mérés után a minták tovább felhasználhatók, vagy más módszerekkel tovább vizsgálhatók. A mérés és a kiértékelés pontosan leírható statisztikai módszerekkel, így az eredmények bizonytalansága már egy mérésből is megbízhatóan becsülhető. A prompt-jelek intenzitása arányos a besugárzási idővel, tehát hosszabb méréssel az eredmények pontossága növelhető.

Amennyiben a minta nem vékony, homogén (pl. porított), hanem kiterjedt, a neutronok és a gamma fotonok mintán belüli elnyelődése az $f(E\gamma)$ tényezővel vehető figyelembe.

4.1.1.1. Mintaelőkészítés

A beszállított mintákból a laboratórium munkatársai készítenek vizsgálati mintákat. A minta többnyire szilárd anyag (kivételes esetben folyadék), amelyet vékony teflonzacskóba csomagolva (folyadék esetén küvétába helyezve) sugározzák be. Az inhomogén vagy durva szemcsés pormintákat szükség szerint homogenizálni kell. Az ilyen minták kiterjedése jellemzően $2 \times 3 \text{ cm}^2$, vastagsága 1–3 mm. Önhordó mintákat akár közvetlenül is lehet vizsgálni. Összetételétől függően kb. 2-3 gramm minta szükséges. A mintákat betonalkotónként kell előkészíteni.

4.1.1.2. Az elemanalízis menete

A mintát egy alumínium mintatartó kerethez kell rögzíteni, amely biztosítja a reprodukálható pozicionálást, majd a mintakamrába kell helyezni. A nyaláb kinyitását követően megkezdhető az adatgyűjtés.

A mérési idő egy 2-3 grammos szilikátos minta esetében jellemzően 2 óra, bonyolult spektrumok, kisérzékenységgű elemek vagy nagy pontossági igény esetén a mérés akár egy napig is tarthat. Amikor elegendő beütés gyűlt össze a spektrumban, a nyaláb bezárható és a spektrum eltárolható. A mérés után a mintákat pár napig egy ólomtárolóban kell pihentetni. Ez idő alatt a legtöbb minta aktivitása a mentességi szint alá csökken, így korlátozás nélkül tovább használható.

MEGJEGYZÉS: A prompt-gamma aktivációs analízis (PGAA) vizsgálat Magyarországon a HUN-REN Energiatudományi Kutatóközpontban végezhető el.

4.1.2. A műszeres neutronaktivációs analízis (NAA)

A módszer fizikailag roncsolásmentes meghatározásra alkalmas, mivel nem igényel kémiai mintaelőkészítést. A vizsgálandó mintát neutronokkal sugározzák be, amelynek során a minta stabil atommagjai és az aktiváló részecskék között létrejövő kölcsönhatások következtében magreakciók játszódnak le. A magreakciók termékei rendszerint radioaktívak. Az így mesterségesen radioaktívvá tett atommagok jellemző felezési idővel ($T_{1/2}$) bomlanak, miközben különböző energiájú gamma-sugárzást bocsájtanak ki. A rögzített gamma spektrum feldolgozásával analitikai információt szerezhető a keletkezett radioaktív atommagokról és a lejátszódott magreakciók ismeretében a besugárzott elemek stabil izotópjainak a jelenlétéről, illetve mennyiségéről. Az aktivációs analízis elvi alapját két nukleáris folyamat alkotja: a radioaktív atommagok létrehozása, majd ezek bomlása.

4.1.2.1. Mintaelőkészítés

A beszállított mintákból a laboratórium munkatársai készítenek vizsgálati mintákat. A homogenizált, laborszáraz mintákból ~100-150 mg-ot nagytisztaságú (6-8 cm hosszú, 6 mm átmérőjű) kvarcampullába kell mérni mikromérleggel. Az ampullákat üvegtechnikai módszerrel le kell zárni és egyesével alufóliába kell csomagolni, majd az egyik ampulla aljához rögzíteni kell a pontosan bemért fluxusmonitor szettet. Az 5-7 db kvarcampullából álló köteget újabb alumíniumfóliába kell csomagolni, majd egy erre a célra rendszerezített, alumíniumból készült besugárzó tokba hermetikusan le kell zárni. Ez a belső besugárzó tok egy külső perforált besugárzó tokba kerül, amellyel leengedik a reaktor besugárzó csatornájába.

4.1.2.2. Az elemanalízis menete

A mérések során a mintákat a reaktor forgatható csatornájába kell helyezni előre meghatározott pozícióban és időre. A besugárzás megkezdése előtt besugárzási, hűtési és mérési idők optimalizálását együttesen kell elvégezni. Törekedni kell a minimális aktivitás elérésére. Az időparamétereket az optimalizációs számítások szerint kell megválasztani, tekintettel a besugárzás helyén fennálló hőmérsékleti és sugárzási viszonyokra.

A mérések során nincs szükség standard referencia anyagra, csak a neutrontér-paraméterek számításához szükséges monitor fóliákra, amelyeket a mintákkal egyidejűleg sugározunk be, illetve a detektorok hatásfokának pontos ismeretére a 25-2700 keV tartományában, több minta-detektor távolság esetén is.

A mintákból származó bomlási gamma-fotonokat a besugárzást követő egy héttel, két héttel, majd 1 hónap múlva is meg kell mérni. A későbbi mérésből a hosszú felezési idejű komponensek határozhatók meg jobb kimutatási határral, mivel a rövid felezési idejűek addigra kibomlottak a mintából és nem növelik a spektroszkópai háttérrel.

Azonos típusú mintákat érdemes egyszerre besugározni. Egyszerre 5-7 minta fér egy besugárzó tokban. A besugárzó tok zárását és a besugárzást, valamint azt követően a minták besugárzó tokból való kivételét a melegkamrában, a EK Reaktorüzem szakavatott munkatársai végzik.

A besugárzást követő 4. napon a külső és belső besugárzó tokokból a mintacsomagot a melegkamrában kibontják. A dozimetriai követelményeknek megfelelő, azaz a felülettől 15 cm-re kevesebb, mint 100 $\mu\text{Sv/h}$ dózisteljesítményt mutató mintacsomag már az NAA laborban ólomvédelemmel ellátott bontó asztalon tovább bontható.

MEGJEGYZÉS: A műszeres neutronaktivációs analízis (NAA) vizsgálat Magyarországon a HUN-REN Energiatudományi Kutatóközpontban végezhető el.

4.2. A gamma-spektrumok kiértékelése

A gamma-spektroszkópiai mérés közvetlen eredménye a gamma-spektrum, amelyben a csatornaszám függvényében megjelennek a különböző energiájú gamma-fotonoknak megfelelő teljesenergia csúcsok, illetve az ezekhez tartozó Compton-háttér és szökési csúcsok. A gamma-spektrum vízszintes tengelyén szereplő csatornaszám gamma-energiává is átkalibrálható (pl. keV egységben), radioaktív standard izotópok ismert energiájú gamma-vonalainak mérése alapján. A mért gamma-spektrumban a vízszintes tengely mentén megjelenő csúcsok pozíciója (energiája) alapján lehet elvégezni a radioaktív izotópok (kémiai elemek) minőségi azonosítását, míg az egyes teljesenergia csúcsok háttérrel korrigált beütésszámából az izotópok (elemek) mennyiségére (koncentrációjára) lehet következtetni.

4.2.1. PGAA módszerrel mért gamma-spektrumok kiértékelése

A spektrumokban az értékes információt a teljesenergia csúcsok pozíciója és területe hordozza. A kiértékelés célja e két paraméter minél pontosabb meghatározása. Az akár több száz csúcsot tartalmazó spektrumokat a kiértékeléshez kisebb, legfeljebb 10 csúcsból álló régiókra kell felosztani.

A spektrumok rutinszerű kiértékeléséhez a Hypermet-PC 5.12, illetve a Hyperlab 2022 (vagy újabb) program használható. A program végighalad a spektrumon, megkeresi a háttérből szignifikánsan kiemelkedő csúcsokat, meghatározza az illesztési tartományok optimális határait és régióként elvégzi a csúcs és háttérkomponenseket is tartalmazó modellfüggvény súlyozott legkisebb négyzetek módszerével történő illesztését. Ebből a csúcsok pozíciója, területe és ezek bizonytalansága kapható meg.

Az elemösszetétel-számolást a ProSpeRo nevű Microsoft Excel makróval végezhető, amely a gamma spektrometriai kiértékelés csúcslistáját használja fel. A jól algoritmizálható feladatokat- mint a csúcsazonosítás és a statisztikai vizsgálatok- a program automatikusan elvégzi. A nyers eredményeket az analitikus a mintával kapcsolatos ismeretei alapján módosíthatja.

Első lépésben a makró betölti a csúcslista fájlt, az analitikai adatkönyvtárat, amely minden elemre legfeljebb 25 csúcsot tartalmaz, illetve a háttérvonalak táblázatát. Minden spektrumcsúcshoz kigyűjti a szóba jöhető irodalmi vonalakat ($\chi_e < 3$), illetve kiszámítja az ezeknek megfelelő elemtömegeket. Ezt követően elemek szerint csoportosítja a sorokat és statisztikai tesztekkel kiszűri a kiugró értékeket. Végül a csúcsokból számított tömegekből súlyozott átlagot képez és kiszámítja az eredő hibát. Az így kapott átlagos tömegek statisztikus (és az esetleges szisztematikus) hibája sokkal kisebb, mintha az analízist csak egy-egy csúcs alapján végeznék. A makró kiszámít minden elemre egy minősítő számot, amely függ a megtalált csúcsok számától és relatív intenzitásuktól. A kis intenzitású csúcsok hiánya csak kismértékben, míg a legintenzívebb csúcsok hiánya jelentősen csökkenti a minősítő számot.

Ha egyes csúcsenergiák nagyon eltérnek az irodalmiaktól, vagy a tömegek az átlagértéktől, a kiértékelő az adott sort figyelmen kívül hagyhatja. Ilyenkor a táblázat minden értéke automatikusan frissül. Egy másik táblázatban a makró kigyűjti a szignifikáns elemeket, azok tömegéből kivonja a háttérteret és végül a tömegekből koncentrációkat számol (mol % és tömeg %).

Az eredményes analízis legalább 1-2%-os relatív pontosságot követel meg a csúcsterületek és néhány tized keV pontosságot a csúcshelyek meghatározásában.

4.2.2. NAA módszerrel mért gamma-spektrumok kiértékelése

Az NAA gamma-spektrumok kiértékeléséhez a Hyperlab 2013.1 (vagy újabb) program használható. A gamma-energiákhoz tartozó radioaktív izotópok azonosítására és az elemkoncentrációk számítására a k_0 -standardizációs eljárás alapuló Kayzero for Windows 3.06 szoftver áll rendelkezésre.

Egy kis- és egy nagyenergiájú, ismert nuklidoktól származó, intenzív csúcsot kell kiválasztani, amelyekkel kalibráljuk az energiatengelyt és a csúcsok félértékisélességét. A program ezután végighalad a spektrumon, megkeresi a háttérből szignifikánsan kiemelkedő csúcsokat, meghatározza a tartományok optimális határait és régióként elvégzi a modellfüggvény illesztését. Ebből megkapható a csúcsok pozíciója, területe és ezek bizonytalansága. Végül az automatikus illesztés eredményeit a χ^2 értékek és a reziduumok alapján felül

kell vizsgálni. Ahol szükséges, további csúcs hozzáadásával vagy törlésével, a modellfüggvény vagy a régióhatárok módosításával javítani kell az illesztésen.

4.2.3. A kapott koncentráció adatok összesítése, adatbázis

Az NAA ritkaföldfémek koncentrációjának meghatározására kiválóan alkalmas módszer. A mintákban a ritkaföldfémek közül a La, Ce, Sm, Eu, és a Tb koncentrációját lehet meghatározni, illetve a Th, és az U, mint aktinidákat. Az átmeneti fémek közül a Co, Cr, Fe, Hf, Sc, W és a Zn; az alkálifémek közül a Cs, K, Na, és a Rb; az alkáliföldfémek közül a Ca, Sr, Ba; a nemfémes elemek közül az As, Sb; a halogének közül a Br koncentrációja mérhető.

A PGAA a főelemek (Si, Ti, Al, Fe, Mn, Mg, Ca, Na, K, C, H), illetve néhány nyomelem, mint pl. a B, Cl, Gd, Nd, Sm koncentrációjának meghatározására alkalmas módszer. A mintákban a főelemek közül fontos kiemelni a H-t, amely más módszerekkel nem vagy nehezen határozható meg. A legtöbb betonalkotó mintában a C kimutatási határ alatti mennyiségben van jelen.

A koncentrációk meghatározásának pontossága:

Az NAA és a PGAA módszerekkel elérhető pontosság, hasonlóan a legtöbb műszeres analitikai eljáráshoz, legjobb esetben 2-3%, amelynek korlátja a berendezés kalibrációja és a nukleáris adatok pontossága. Amennyiben az adott elem csúcsának statisztikai pontossága kicsi, a pontosság romolhat 10-20% körüli.

Az elemösszetétel adatbázis szerkezete:

A bányák és a méretfrakciók kódolják a mintákat. Egy minta összetétele egy sorban van feltüntetve. Az egy mintára vonatkozó, PGAA és az NAA mérésekből származó adatok együttesen kerültek az adatbázisba.

A kavicsok esetén a SiO_2 , TiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MnO, MgO, CaO, Na_2O , K_2O , H_2O tömeg %-ban, a B, Cl, Gd, As, Ba, Ce, Co, Cr, Cs, Eu, Hf, La, Rb, Sb, Sc, Sm, Ta, Tb, Th, Yb mg/kg (ppm) egységekben van feltüntetve.

A cementek és az adalékanyagok esetében a Si, Ti, Al, Fe, Mn, Mg, Ca, Na, K, H, C, S elemek tömeg %-ban, míg az As, B, Ba, Br, Ce, Cl, Co, Cr, Cs, Eu, Gd, Hf, La, Nd, Rb, S, Sb, Sc, Sm, Sr, Ta, Tb, Th, U, Yb, Zn nyomelemek mg/kg egységekben szerepelnek. Amennyiben az adott elem a módszerek kimutatási határánál kisebb koncentrációban van jelen a mintában, a táblázat adott cellája üres.

Az adatbázisban az építésügyi műszaki irányelv készítésének időpontjában mintegy 160 különböző betonalkotó felaktiválódási jellemzői szerepelnek.

5.

A NUMERIKUS MODELLEZÉS

A 4. fejezetben részletezettek szerint meghatározott összetételeredmények felhasználhatók a numerikus modellezési lépésben, ahol a sugártér paraméterei és a geometria alapján az ismert magátalakulási sémák felhasználásával aktivitásbecslés és izotópleltár készíthető.

A modellezéshez szükségesek a következő információk:

- ▶ A tervezett beton receptúrája
- ▶ A betonalkotók 4-es fejezetben részletezett vizsgálati eredményei
- ▶ A beton kötött víztartalma
- ▶ A beton (vasbeton) szerkezet rétegrendje, geometriája
- ▶ A terhelő neutronspektrum térbeli és időbeli eloszlása
- ▶ Tervezett üzemidő

A számítógépes modellezés a FISPACT II szoftverrel végezhető el. A program számára meg kell adni az adott pozícióban érvényes neutronfluxus energia szerinti eloszlását egy 709 csatornát tartalmazó felosztásban (CCFE-709 group structure, https://fispact.ukaea.uk/wiki/CCFE-709_group_structure), egységnyire normalva. Szükséges továbbá egy szorzófaktor megadása, amely a neutronintenzitás-görbe integrálja. A minta összetételét tömeg %-ban, tömegét grammban, sűrűségét g/cm³-ben kell megadni. A besugárzás kezdetét a FLUX parancs mögé írt fluxusadattal lehet jelezni, majd a TIME paranccsal óra egységekben jelezni a besugárzás hosszát. Az ATOMS parancs az adott időpontra érvényes izotópleltár kiírtatására szolgál. A besugárzás végeztével a FLUX 0 és a ZERO kulcsszavakkal leállítják a besugárzást és a keresett hűtési időket megadva kiírható a leltár. Több aktiválási-hűtési ciklus, illetve egy besugárzáshoz kapcsolódóan több hűtési idő is megadható.

Egy példabeállítás és eredménylistát az alábbiakban mutatunk be, az arany fluxusmonitor esetére. Ez tisztán előállítható, monoizotópos anyag révén, valamint pontosan ismert nukleáris paramétereinek köszönhetően jó referencia anyagnak tekinthető.

```

<< -----set initial switches and get nuclear data----- >>
CLOBBER
GETXS 1 709
GETDECAY 1
FISPACT
* Au monitor literature dens mass
DENSITY 19.3
MASS 2.25E-9 1
Au 100
MIND 1E3
GRAPH 1 2 1 3
UNCERTAINTY 2
HALF
HAZARDS
<< -----irradiation phase----- >>
FLUX 2.6E+13
ATOMS
TIME 2.0 HOURS
ATOMS
<< -----cooling phase----- 49.35 hours>>
FLUX 0.
ZERO
TIME 49.35 HOURS ATOMS
END
* END
/*
  
```


A számítógépes modellezés eredményeit a program több táblázatban foglalja össze, amelyben az eredeti és a keletkezett izotópok, ezek aktivitásai, tömegei, becsült hő- és dózisteljesítményei is megtalálhatók.

COMPOSITION OF MATERIAL BY ELEMENT											
		ATOMS	GRAM-ATOMS	GRAMS	BETA		GAMMA		ALPHA		
					CURIES-MeV	kw	CURIES-MeV	kw	CURIES-MeV	kw	
79	Au	6.8792E+15	1.1423E-08	2.2500E-06	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
1	*** TIME INTERVAL	2	*** TIME IS	7.2000E+03 SECS OR	2.0000E+00 HOURS	*** ELAPSED TIME IS	2.000 h	*** FLUX AMP	IS	2.6000E+13 /cm^2/s	***
	NUCLIDE	ATOMS	GRAMS	Bq	b-Energy kw	a-Energy kw	g-Energy kw	DOSE RATE Sv/hr	INGESTION DOSE(Sv)	INHALATION DOSE(Sv)	HALF LIFE seconds
Au196		2.28828E+05	7.446E-17	2.969E-01	1.325E-18	0.00E+00	2.246E-17	3.644E-03	1.306E-10	1.099E-10	5.342E+05
Au196n		3.28926E+03	1.070E-18	6.597E-02	2.885E-18	0.00E+00	2.489E-18	7.776E-05	2.969E-11	4.684E-11	3.456E+04
Au197	#>	6.87912E+15	2.250E-06	0.000E+00	0.000E+00	0.00E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	Stable
Au197m		2.24323E+04	7.337E-18	2.009E+03	5.916E-14	0.00E+00	7.256E-14	5.387E+00	2.210E-10	2.009E-10	7.740E+00
Au198		1.10639E+11	3.637E-11	3.294E+05	1.722E-11	0.00E+00	2.126E-11	6.630E+03	3.294E-04	2.833E-04	2.328E+05
Au198m		5.39460E+05	1.773E-16	1.882E+00	7.901E-17	0.00E+00	1.591E-16	1.026E-02	2.446E-09	3.763E-09	1.987E+05
Au199		1.17842E+07	3.893E-15	3.012E+01	7.001E-16	0.00E+00	4.636E-16	1.471E-02	1.325E-08	2.379E-08	2.712E+05
Hg198	#	1.18878E+09	3.908E-13	0.000E+00	0.000E+00	0.00E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	Stable
Hg199	#	8.72395E+04	2.882E-17	0.000E+00	0.000E+00	0.00E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	Stable
0	TOTAL NUMBER OF NUCLIDES PRINTED IN INVENTORY =	9									

A minta valamennyi alkotójának sugárzási adataiból összesített adatokat is kaphatunk:

0	Time (step)	Cumulative (Years)	Activity (Bq)	Dose rate (Sv/h)		Heat output (kw)	Ingestion dose (Sv)	Inhalation dose (Sv)	Tritium activity (Bq)				
----Irradiation Phase----													
Irradn	2.000 h	2.28E-04	3.31E+05 +/-	0.9%	6.63E+03 +/-	0.9%	3.86E-11 +/-	0.9%	3.29E-04 +/-	0.9%	2.83E-04 +/-	0.9%	0.00E+00
----Cooling Phase----													
Cooling	2.056 d	5.63E-03	1.93E+05 +/-	0.9%	3.89E+03 +/-	0.9%	2.26E-11 +/-	0.9%	1.93E-04 +/-	0.9%	1.66E-04 +/-	0.9%	0.00E+00
0 Mass of material input = 2.2500E-09 kg. Material density = 19.30 g/cc													
Total irradiation time = 7.200000E+03 s													
Total fluence = 1.872000E+17 n/cm2													
Mean flux = 2.600000E+13 n/cm2/s													
Number of on-times = 1													

MEGJEGYZÉS: A számítógépes modellezés Magyarországon az HUN-REN Energiatudományi Kutatóközpontban végezhető el, ahol a szükséges szoftverek és szakemberek egyaránt rendelkezésre állnak.

6. HIVATKOZOTT ÉS FELHASZNÁLT DOKUMENTUMOK

6.1. Hivatkozott dokumentumok

[1] MSZ 4798:2016 Beton. Műszaki követelmények, tulajdonságok, készítés és megfelelés, valamint az EN 206 alkalmazási feltételei Magyarországon

[2] MSZ EN 998-2:2017 Előírás falazati habarcsra. 2. rész: Falazóhabarcs

6.2. Az irányelvhez kapcsolódó releváns források

6.2.1. Jogszabály

305/2011. (III. 9.) Európai Parlament és Tanács rendelet az építési termékek forgalmazására vonatkozó harmonizált feltételek megállapításáról és a 89/106/EGK tanácsi irányelv hatályon kívül helyezéséről (CPR - Építési Termék Rendelet)

1996. évi CXVI. törvény az atomenergiáról (Atv. - Atomtörvény)

2023. évi C. törvény a magyar építészetéről

191/2009. (IX. 15.) Korm. rendelet az építőipari kivitelezési tevékenységről (Kivitelezési Kódex)

275/2013. (VII. 16.) Korm. rendelet az építési termék építménybe történő betervezésének és beépítésének, ennek során a teljesítmény igazolásának részletes szabályairól

143/2004. (XII. 22.) GKM rendelet a Hegesztési Biztonsági Szabályzat kiadásáról

34/2021. (VII. 26.) ITM rendelet egyes ipari és kereskedelmi tevékenységek gyakorlásához szükséges képezésekről, valamint egyes műszaki szabályozási tárgyú miniszteri rendeletek módosításáról

8/2018. (VIII. 17.) ITM rendelet az ömlesztőhegesztés végzésének feltételeiről

2/2022. (IV. 29.) OAH rendelet az ionizáló sugárzás elleni védelemről és a kapcsolódó engedélyezési, jelentési és ellenőrzési rendszerről

3/2022. (IV. 29.) OAH rendelet a radioaktív anyagok nyilvántartásának és ellenőrzésének rendjéről, valamint a kapcsolódó adatszolgáltatásról

4/2022. (IV. 29.) OAH rendelet a nukleáris anyagok nyilvántartásának és ellenőrzésének szabályairól

5/2022. (IV. 29.) OAH rendelet az atomenergia alkalmazása körében eljáró független műszaki szakértőről

6/2022. (IV. 29.) OAH rendelet az atomenergia alkalmazása körében eljáró független műszaki szakértői tevékenységgel kapcsolatos eljárások díjairól

7/2022. (IV. 29.) OAH rendelet az atomenergiáról szóló törvény hatálya alá tartozó építményekkel, létesítményekkel kapcsolatos műszaki szakértői, tervezői, műszaki ellenőri és felelős műszaki vezetői tevékenység szerinti szakmagyakorlásra való alkalmasság igazolásának és nyilvántartásba vételének részletes szabályairól, továbbá a nyilvántartás adattartalmára vonatkozó szabályokról

6.2.2. Szakirodalom

VAJDA NÓRA: Analitikai módszerek fejlesztése nehezen mérhető radioizotópok meghatározására. MTA Doktori dolgozat (http://real-d.mtak.hu/732/7/VajdaNora_doktori_mu.pdf; Hyperlab gamma spektrometriai szoftvercsomag, www.hlabsoft.com)

FISPACT - II Transmutation-Activation Inventory Code, United Kingdom Atomic Energy Authority Release 4.0 January 2018, <https://fispact.ukaea.uk/>

*A MÓDSZERTAN A NUKLEÁRIS LÉTESÍTMÉNYEKBEN ALKALMAZOTT BETONOK
FELAKTIVÁLÓDÁSI HAJLAMÁNAK VIZSGÁLATÁRA*
című építésügyi műszaki irányelvet a szakmai szervezetek véleményezése mellett
összeállította, a tervezet előkészítéséért felelős:

- ▶ Építésügyi Minőségellenőrző Innovációs Nonprofit Kft.
2000 Szentendre, Dózsa György út 26.
- ▶ Telefon: +36 (26) 502 300
- ▶ E-mail: emszb@emi.hu
- ▶ Honlap: www.emi.hu

A kiadvány megjelenése az Építési és Közlekedési Minisztérium támogatásával valósult meg.



ÉPÍTÉSI ÉS KÖZLEKEDÉSI
MINISZTERIUM

 **ÉMSZB**
ÉPÍTÉSÜGYI MŰSZAKI SZABÁLYOZÁSI BIZOTTSÁG



ÉPÍTÉSÜGYI
MINŐSÉGELENŐRZŐ
INNOVÁCIÓS NKFT.